Пересчет обмотки асинхронного двигателя при ремонте



В настоящем документе представлена только часть указанного издания, касающаяся практического пересчета обмоток асинхронных двигателей при ремонте.

Виноградов Николай Владимирович

"Обмотчик электрических машин" 1958 г.
"Электрослесарь по ремонту и монтажу промышленного оборудования" 1959 г.

Rev. 02 27 Nov 2020

Расчеты обмоток при ремонте.

В процессе выполнения ремонтных работ встречаются случаи, когда приходится изменять технические данные ремонтируемой машины или восстанавливать их при отсутствии старой обмотки и паспорта. Всякое изменение технических данных связано с изменением обмоток. Обмоточные данные машины получаются на основе расчетов, которые связывают мощность и скорость вращения машины с ее размерами. Полный расчет электрической машины является очень громоздким для практического пользования в цеховых условиях. Однако при изменении каких–либо технических данных машины можно, основываясь на размерах имеющейся машины, обойтись простейшими расчетами для получения новых данных.
Здесь будут рассмотрены расчеты, связанные с переделкой на другое напряжение и на другую скорость вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором и машин постоянного тока, а также определение обмоточных данных двигателей, поступивших в ремонт без паспорта и остатков старой обмотки.
Переделка на другое напряжение асинхронного двигателя встречается часто при изменении системы электроснабжения предприятия с использованием старых двигателей.
Асинхронные двигатели выпускаются на одно и на два напряжения. Так, например, на табличках двигателей можно прочесть: 500 *в*, 220/380 *в*, 127/220 *в*. Двигатели на двойное напряжение всегда имеют шесть выводов от обмотки статора. Поэтому об мотку можно соединить в звезду при высшем напряжении сети и в треугольник при низшем напряжении сети, питающей двигатель. При соединении в звезду напряжение на фазу обмотки двигателя в 1,73 раза меньше линейного напряжения, а при соединении в треугольник напряжение на фазу двигателя равно линейному. Таким образом, двигатели, выпускаемые с шестью выводами, могут работать от сетей с разными напряжениями, причем на фазу двигателя будет приходиться одно и то же напряжение.
При всяких расчетах асинхронных двигателей надо пользоваться фазным напряжением, которое зависит от линейного и схемы соединений фаз обмотки двигателя. Например, у двигателя, выпущенного заводом на 127/220 *в*, при линейном напряжении 127 *в* и соединении фаз обмотки в треугольник фазное напряжение будет 127 *в*; при линейном напряжении 220 *в* и соединении фаз в звезду фазное напряжение также будет 220 : 1,73 = 127 *в*. У двигателя на 500 *в* при соединении обмотки в звезду фазное напряжение будет 500 : 1,73 = 289 *в*. Токи, потребляемые двигателями, при питании от сетей с разными линейными напряжениями изменяются обратно пропорционально напряжениям. Так, например, если двигатель при питании от сети с напряжением 220 *в* потреблял ток 14 *а*, то при питании от сети 380 *в* с соответствующим переключением обмотки на звезду ток двигателя снизится в 1,73 раза и будет 14 : 1,73 = 8,1 *а*.
При изменении обмоточных данных двигателя, связанных с переделкой на другое напряжение, число витков обмотки изменяется прямо пропорционально фазному напряжению, а сечение провода изменяется обратно пропорционально фазному напряжению.

Пример 1. В ремонт поступил двигатель единой серии типа А52/4 Обозначение типа двигателя означает: двигатель серии А, пятого габарита (диаметра), второй длины, четырехполюсный. Обмотка двигателя требует замены по причине плохой изоляции. При ремонте требуется переделать двигатель на питание от сети напряжением 500 *в* при соединении обмотки двигателя в звезду. Технические данные двигателя: мощность 7 *квт*., скорость вращения 1440 *об. мин.*, напряжение 220/380 *в*, ток 24,2/14 *а*.
Обмоточные данные: провод марки ПЭЛБО, диаметр голого провода 1,4 *мм*., число проводов в пазу 22 эффективных; катушки намотаны в два параллельных провода; общее число проводов в пазу 22 × 2 = 44; обмотка однослойная; площадь паза 206 *мм*^{2}; число пазов статора 36.

Фазное напряжение двигателя до перемотки было 220 *в* при обеих схемах соединения обмотки. После перемотки фазное напряжение будет 500 : 1,73 = 289 *в*. Следовательно, число витков фазы должно увеличиться в отношении 289/220 = 1,31 раза. Но в обмоточных данных не указано число витков фазы. Его можно просто определить. Число пазов статора 36. В каждом пазу 22 эффективных провода, а всего в пазах статора 22 × 36 = 792 эффективных провода. Витков будет в два раза меньше, так как виток образуется из двух проводов, а на фазу придется одна треть всех витков статора.
Поэтому число витков на фазу будет:

$$w = \frac{792}{2 \times 3} = 132 \text{ витка на фазу}$$

После перемотки должно быть 132 × 1,31 = 174 витка на фазу. В такой же пропорции должно возрасти число эффективных проводов в пазу, т. е. 22 × 1,31 = 29 проводов, а всего в пазу будет 58 проводов.
Теперь определим размер нового провода. Находим сечение провода диаметром 1,4 *мм.*; оно равно 1,539 $мм^2$. Сечение провода должно уменьшиться в 1,31 раза, т. е. должно быть 1,18 $мм^2$. Находим ближайший диаметр провода 1,2 *мм*.
Чтобы заказать новый провод, измерим длину витка старой обмотки; она составляет 680 *мм*., а вся длина обмотки будет 0,68 × 2 × 3 × 174 = 710 *м*. По табл. 1 находим, что вес 1 *км*. провода составляет 10 *кг*., следовательно, вся обмотка будет весить 0,71 × 10 = 7,1 *кг*. Для учета веса изоляции вводят коэффициент 1,02 и заказывают 7,25 *кг*. провода. Из табл. 1 узнаем, что 1 *км*. провода имеет сопротивление 15,22 *ом*.
Сопротивление всего провода было бы 0,71 × 15,22 = 10,8 *ом*. Но обмотка выполнена в два параллельных провода, поэтому длина ее стала в два раза меньше, а сечение в два раза больше, т. е. сопротивление всей обмотки уменьшилось в четыре раза. А сопротивление одной фазы будет еще в три раза меньше. Следовательно, сопротивление фазы обмотки будет:

$$\frac{10{,}8}{4 \times 3} = 0{,}9 \text{ ом}$$

Эти данные нужны для проверки обмотанного статора.
При каждом пересчете обмотки проверяют коэффициент заполнения паза. Из обмоточных данных известно, что площадь паза в листе статора составляет 206 $мм^2$. Для определения площади паза за вычетом пазовой изоляции и клина надо разделить эту площадь на 1,3. Получим площадь паза для укладки проводов Fп = 206 : 1,3 = 159 $мм^2$. Коэффициент заполнения паза определяется по формуле:

$$K\text{з} = \frac{N \times d^2\text{из}}{F\text{п}}$$

Диаметр провода марки ПЭЛБО с изоляцией по табл. 3 будет dиз = 1,2 + 0,21 = 1,41. Подсчитаем коэффициент заполнения паза:

$$K\text{з} = \frac{58 \times 1{,}41^2}{159} = 0{,}72$$

Если коэффициент заполнения паза не превышает 0,75, то обмотка выполнима. Вот и весь расчет новой обмотки. Он сделан так подробно потому, что на нем показан ход расчета и даны все объяснения. Практический расчет может быть значительно короче. На этом и основан принцип переделки двигателей на другое напряжение. Переделка асинхронного двигателя на другую скорость вращения также часто производится в целях повышения производительности механизмов, приводимых двигателем.

Изменение скорости вращения, как видно из табл. 4, достигается изменением числа полюсов. Это в свою очередь ведет к изменению числа пазов на полюс и фазу, шага, обмотки по пазам и числа витков на фазу. С изменением скорости вращения изменяется и мощность двигателя, а следовательно, и сечение провода обмотки. Рассмотрим переделку двигателя на другую скорость вращения на примере.

Пример 2. Требуется перемотать двигатель единой серии типа А61/6, имеющий мощность 7 *квт* при 970 *об. мин.* и напряжение 220/380 *в*, на другую скорость, в полтора раза большую. Обмоточные данные двигателя: провод ПЭЛБО диаметром 1,2 *мм*. Число витков в фазе 216, катушки намотаны в два параллельных провода, обмотка двухслойная, шаг 1–6, число пазов $Z = 36$, площадь паза 296 *мм*^{2}.
Размеры двигателя: наружный диаметр статора Da = 327 *мм*., внутренний диаметр статора D = 200 *мм*., длина статора l = 75 *мм*., глубина паза статора hп = 29 *мм*.
Магнитный поток двигателя пронизывает площадь полюсного деления, которая выражается формулой:

$$Q = \frac{3{,}14 \times D \times l}{2p}\ \text{см}^2$$

При переходе на повышенную скорость вращения придется изменить число полюсов с 6 на 4. Как видно из формулы, при этом площадь полюсного деления увеличится в отношении 6 : 4, т. е. в полтора раза, так как размеры двигателя двигателя не меняются.

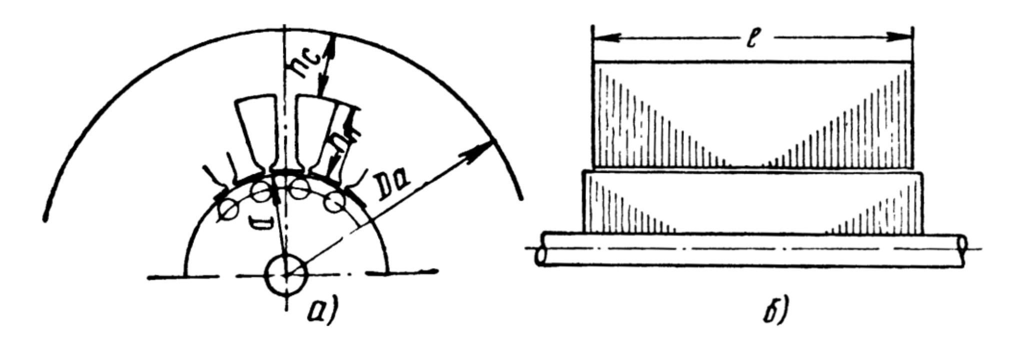


Рис. 178. Размеры сердечника асинхронного двигателя.

Число витков на фазу обратно пропорционально площади полюсного деления. Следовательно, число витков на фазу при измененной скорости следовало бы взять уменьшенное в полтора раза, т. е. 216 : 1,5 = 144 витка на фазу. Но при этом вырастет индукция в сердечнике статора, которая подсчитывается по формуле (рис. 178):

$$B = \frac{10^8}{2 \times h\text{c} \times l \times w}$$

где hс – высота спинки статора. Ее можно определить по формуле:

$$h\text{c} = \frac{Da - D}{2} - h\text{п}$$

Индукция должна быть при пересчете не выше 12000 гауссов. Для данного двигателя:

$$h\text{c} = \frac{327 - 200}{2} - 29 = 34{,}5\ \text{мм.} = 3{,}45\ \text{см.}$$

индукция в сердечнике статора:

$$B = \frac{10^8}{2 \times 3{,}45 \times 7{,}5 \times 144} = 13500 \text{ гауссов}$$

Как видим, индукция в сердечнике статора получилась слишком велика. Чтобы ее снизить до 11500 гауссов, то есть на ⅙, увеличим число витков тоже на ⅙, то есть на 24 и доведем это число до 168. При переделке двигателя на большую скорость вращения всегда повышается индукция в сердечнике. Поэтому при большом увеличении скорости приходится увеличивать спинку статора. Число эффективных проводов в пазу определяется по формуле:

$$N\text{э} = \frac{6 \times w}{Z} = \frac{6 \times 168}{36} = 28$$

т. е. число целое и четное, что необходимо для выполнения двухслойной обмотки. При увеличении скорости вращения мощность также увеличится почти во столько же раз. При неизменном напряжении его повлечет к увеличению тока двигателя. Поэтому сечение провода надо увеличить. Провод диаметром 1,2 *мм*. имеет сечение 1,131 *мм*^{2}. Учитывая, что при увеличении скорости улучшатся условия охлаждения, возьмем сечение 1,539 *мм*^{2}., которому соответствует диаметр провода 1,4 *мм*.
Теперь можно составить обмоточные данные для перемотанного двигателя. Число пазов на полюс и фазу:

$$q = \frac{36}{3 \times 4} = 3$$

следовательно, для обмотки статора придется намотать 12 катушечных групп по 3 катушки в группе. Диаметральный шаг обмотки:

$$yz = \frac{36}{4} = 9, \text{возьмем укороченный шаг на два паза:}$$

$$\text{y}z \ = \ 7, \text{то есть } 1 - 8 \text{ из первого паза в восьмой.}$$

Проверим коэффициент заполнения паза. Площадь паза для заполнения проводами, за вычетом пазовой изоляции и клина:

$$F\text{п} = \frac{296}{1{,}3} = 228 \text{ мм}^2$$

Диаметр изолированного провода марки ПЭЛБО dиз = 1,4 + 0,21 = 1,61 *мм*.
Коэффициент заполнения паза:

$$K\text{з} = \frac{28 \times 2 \times 1{,}61^2}{228} = 0{,}64$$

Измерим длину витка обмотки l = 0,56 *м*. Общая длина провода:

$$L = 0{,}56 \times 2 \times 3 \times 168 = 565 \text{ м.}$$

По табл. 1 вес 1 *км*. провода составляет 13,69 *кг*. следовательно, вес голого провода:
13,69 × 0,565 = 7.6 *кг*., а с учетом изоляции 7,6 × 1,02 = 7,8 *кг*.

По табл. 1 сопротивление 1 *км*. провода 11,18 *ом*. Сопротивление фазы обмотки:

$$\frac{0{,}565 \times 11{,}18}{4 \times 30} = 0{,}525 \text{ ом}$$

При пересчете двигателей с короткозамкнутым ротором на другие скорости вращения можно получить такое соотношение между числами пазов статора z_1, и ротора z_2, при которых двигатель будет плохо работать. Во избежание этого нельзя допускать следующих соотношений:

$z_2 = z_1$ $z_2 = 6pк \pm 2p$ $z_2 = 6pк \pm 1$
$z_2 = 0{,}5z_1$ $z_2 = z_1 \pm 2p$ $z_2 = 6pк \pm p \pm 1$
$z_2 = 2z_1$ $z_2 = 0{,}5z_1 \pm p$ $z_2 = 6pк \pm 2p \pm 1$
$z_2 = 6pк$ $z_2 = z_1 \pm p$
$к$ – любое целое число.

Пример 3. Определить обмоточные данные двигателя, поступившего в цех без обмотки и таблички мощности. Обмотку статора следует выполнить на напряжение 220/380 *в* с числом полюсов $2p = 6$. При обмере статора получены следующие данные:
Внутренний диаметр статора 400 *мм*.
Длина статора 240 *мм*.
Высота спинки 74,5 *мм*.
Площадь паза 700 *мм*²
Число пазов 54
Площадь полюсного деления:

$$Q = \frac{3{,}14 \times 40 \times 24}{6} = 500 \text{ см}^2$$

Для определения числа витков на фазу воспользуемся графиком (рис. 179). На горизонтали отложены площади полюсных делений, а на вертикали числа витков на фазу при фазном напряжении 220 *в*. При других фазных напряжениях число витков изменяется пропорционально напряжению. График содержит три наклонных линии, из которых верхняя 1 относится к двигателям старых типов, нижняя 3 к двигателям новых серий, а средняя 2 к двигателям неизвестного выпуска.

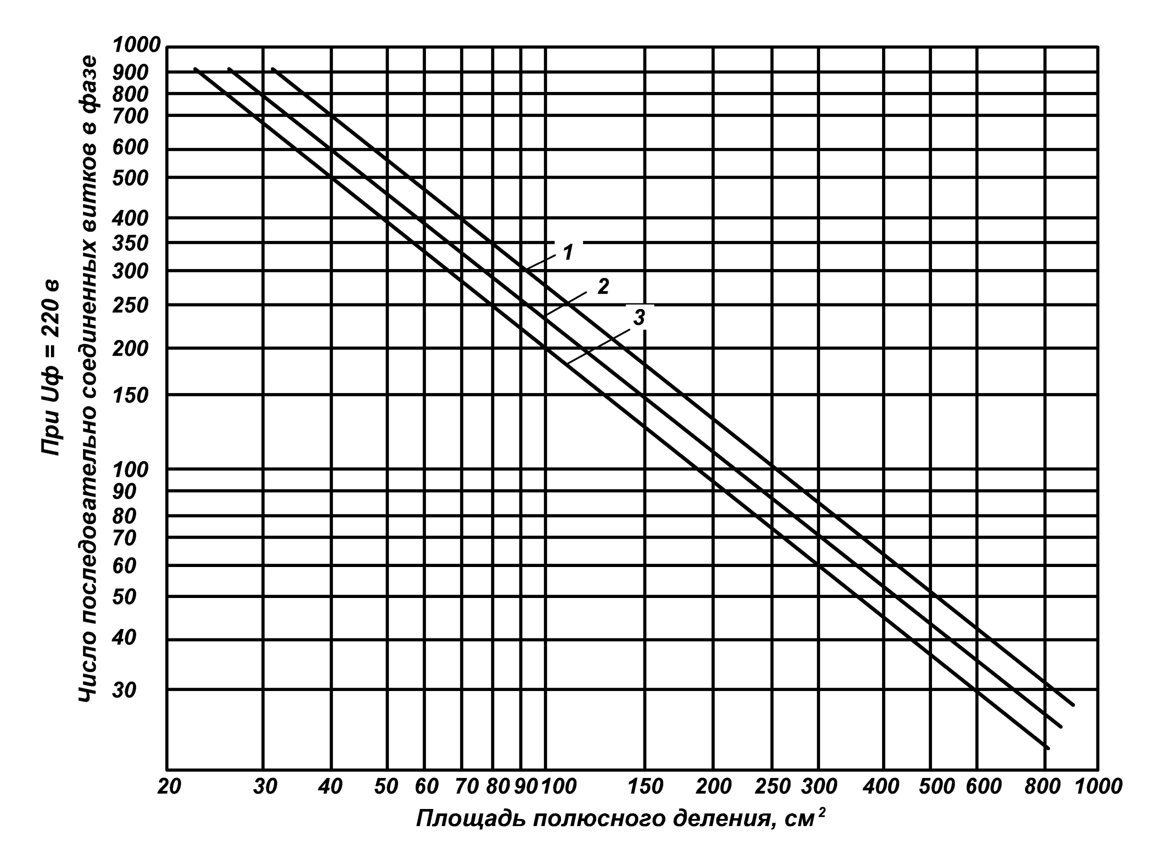


Рис. 179. Графики для определения числа витков в фазе.

Пользуясь наклонной линией 1, определяем число витков в фазе 50 и проверяем магнитную индукцию в сердечнике статора:

$$B = \frac{10^8}{2 \times 7{,}45 \times 24 \times 50} = 5600 \text{ гауссов}$$

Число эффективных проводов в пазу:

$$N\text{э} = \frac{6 \times 50}{54} = 5{,}55$$

Для выполнения двухслойной обмотки принимаем Nэ = 6. Определяем сечение паза занятого проводами:

$$\frac{700}{1{,}3} = 540 \text{ мм}^2$$

Примем коэффициент заполнения Kз = 0,7 и диаметр провода 2,26 *мм*. По табл. 3 находим толщину изоляции для марки провода ПБД dиз = 2,26 + 0,27 = 2,53 *мм*.
Определяем общее число проводов в пазу:

$$N = \frac{0{,}7 \times 540}{2{,}53^2} = 60$$

Таким образом, каждый эффективный провод состоит из 10 параллельных проводов. Сечение эффективного провода по табл. 1.

$$4{,}01 \times 10 = 40{,}1 \text{ мм}^2$$

Приняв плотность тока в обмотке статора 3,5 *мм*², определим ток статора:

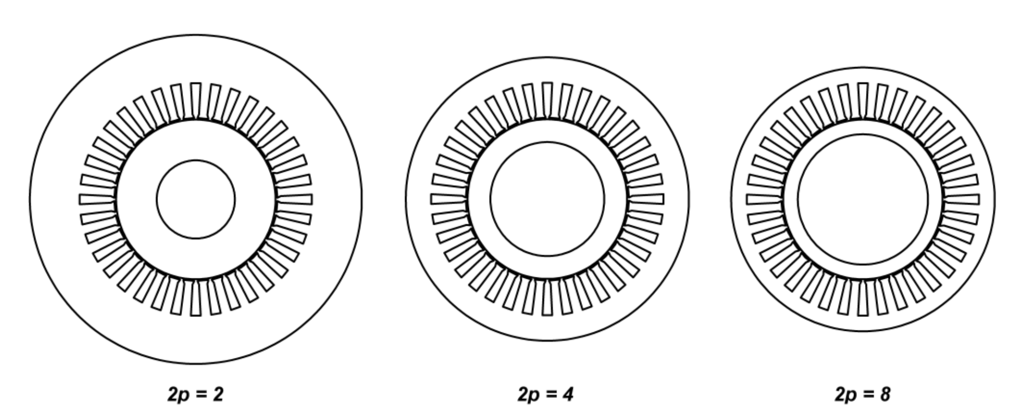
$$I = 40{,}1 \times 3{,}5 = 140\ a$$

По формуле мощности трехфазного тока определим кажущуюся мощность двигателя:

$$P' = \frac{\sqrt{3} \times 380 \times 140}{1000} = 92 \text{ ква}$$

По каталогу находим для аналогичных двигателей к. п. д. = 91%, cosφ = 0,88.
Полезная мощность двигателя:

$$P = 92 \times 0{,}91 \times 0{,}88 = 74 \text{ квт.}$$



Влияние изменения числа полюсов на внешний диаметр статора и размер спинки.

Переделка машин постоянного тока на другие технические данные производится значительно реже. Это объясняется, с одной стороны, ограниченным применением машин постоянного тока, а с другой стороны, более сложными условиями их работы. Часто машина после перемотки перестает надежно работать вследствие не допустимого нагрева коллектора или сильного искрения под щетками. Потребность в переделке машин постоянного тока значительно меньше, так как эти машины и при старых обмотках могут работать в различных режимах за счет регулировки.
Рассмотрим несколько примеров переделки машин постоянного тока. Переделка генератора на меньшее напряжение не требует изменения обмоток. Для этого достаточно уменьшить в соответствующее число раз скорость вращения генератора и он будет давать пониженное напряжение.

Обмотки возбуждения при этом надо соединить в несколько параллельных ветвей в зависимости от требуемого снижения напряжения. Например, четырехполюсный генератор напряжением 460 *в* можно превратить в генератор с напряжением 230 *в*, если вращать его якорь с половинной скоростью, а катушки полюсов, которые были соединены последовательно, переключить на две параллельные группы. При этом ток якоря сохранится, а мощность машины уменьшится вдвое. Для получения удвоенного напряжения достаточно два генератора соединить между собой последовательно.
Если же необходимо при измененном напряжении получать от машины прежнюю мощность, то надо перемотать обмотку якоря, а иногда и обмотку возбуждения. Так, например, для снижения напряжения в два раза надо уменьшить число витков в обмотке якоря. Для этого надо его перемотать тем же проводом, сложенным двое. Тогда ток якоря увеличится вдвое и машина при пониженном напряжении будет отдавать ту же мощность. Катушки полюсов при этом пересоединить в две параллельные группы.
Переделка двигателей на пониженное напряжение выполняется так же, как и переделка генераторов.
Однако при такой переделке могут встретиться затруднения на коллекторе. С увеличением тока якоря возрастет плотность тока под щетками. Если нет запасной длины коллектора, чтобы уставить еще хотя бы по одной щетке на каждом пальце, то приходится увеличивать толщину щеток. При этом увеличивается число пластин коллектора, перекрываемых щеткой, и может не допустимо усилиться искрение. А коллектор будет сильно нагреваться, так как при увеличении тока якоря потери на коллекторе увеличились, а охлаждаемая поверхность осталась прежней.
Для увеличения напряжения надо соответственно увеличить число последовательно соединенных проводов в обмотке якоря, уменьшив их сечение. Но число коллекторных пластин осталось прежним, следовательно, надо увеличить число витков в секциях обмотки. При этом возрастет напряжение между соседними пластинами коллектора и ухудшится коммутация. Это опять может повести к искрению под щетками. Полюсные катушки надо намотать заново из более тонкого провода.
Из приведенных примеров видно, что переделка машин постоянного тока связана со многими трудностями и не всегда кончается успешно. Обычно она еще удается на машинах старого выпуска с малыми нагрузками и с большими запасами места в пазах и на коллекторе.
Изменение скорости вращения двигателей постоянного тока можно осуществить только за счет изменения числа последовательно соединенных проводов в обмотке якоря. Число проводов обратно пропорционально скорости вращения. Если напряжение двигателя остается при этом неизменным, то катушки возбуждения могут остаться без изменения. Изменение числа проводов в обмотке якоря связано с теми же трудностями, что и изменение напряжения как в сторону повышения, так и в сторону понижения. Эти трудности возрастают с увеличением мощности и напряжения машин. Поэтому крупные машины постоянного тока без подробных поверочных расчетов переделывать на другие технические условия не рекомендуется.

Таблица 1.

Номинальные диаметры d, сечения s, веса G
и сопротивления 1 *км*. меди обмоточной круглой.

Диаметр d, *мм*.	Сечение s, *мм*^{2}	Вес 1 *км*, G, *кг*.	Сопротивление 1 *км*, при 15°С *Ом*	Диаметр d, *мм*.	Сечение s, *мм*^{2}	Вес 1 *км*, G, *кг*.	Сопротивление 1 *км*, при 15°С *Ом*
0,05	0,00196	0,01746	9100	(0,77)	0,466	4,14	36,9
0,06	0,00283	0,0252	6310	0,80	0,503	4,47	34,2
0,07	0,00385	0,0342	4630	(0,83)	0,541	4,81	31,8
0,08	0,00503	0,0447	3550	0,86	0,581	5,16	29,6
0,09	0,00636	0,0566	2810	(0,90)	0,636	5,66	27,0
0,10	0,00785	0,0698	2270	0,93	0,679	6,04	25,3
0,11	0,00950	0,0845	1813	(0,96)	0,724	6,43	23,8
0,12	0,01131	0,1005	1524	1,00	0,785	6,98	21,9
0,13	0,01327	0,1180	1296	(1,04)	0,849	7,55	29,3
0,14	0,01539	0,1368	1118	1,08	0,916	8,14	18,79
0,15	0,01767	0,1571	974	(1,12)	0,985	8,75	17,47
0,16	0,0201	0,1788	856	1,16	1,057	9,40	16,28
0,17	0,0227	0,202	758	(1,20)	1,131	10,05	15,22
0,18	0,0255	0,226	674	1,25	1,227	10,91	14,02
0,19	0,0284	0,252	606	(1,30)	1,327	11,80	12,96
0,20	0,0314	0,279	548	1,35	1,431	12,73	12,01
0,21	0,0346	0,308	497	(1,40)	1,539	13,69	11,18
0,23	0,0415	0,369	415	1,45	1,651	14,68	10,41
0,25	0,0491	0,436	351	(1,50)	1,767	15,71	9,74
0,27	0,0573	0,509	300	1,56	1,911	16,99	9,00
0,29	0,0661	0,587	260	(1,62)	2,06	18,32	8,36
0,31	0,0755	0,671	228	1,68	2,22	19,71	7,75
0,33	0,0855	0,760	201	(1,74)	2,38	21,1	7,23
0,35	0,0962	0,855	178,8	1,81	2,57	22,9	6,70
0,38	0,1134	1,008	151,8	(1,88)	2,78	24,7	6,19
0,41	0,1320	1,173	130,3	1,95	2,99	26,5	5,76
0,44	0,1521	1,352	113,2	(2,02)	3,20	28,5	5,38
0,47	0,1735	1,542	99,2	2,10	3,46	30,8	4,97
(0,49)	0,1886	1,676	91,3	2,26	4,01	35,7	7,29
0,51	0,204	1,816	84,4	2,44	4,68	41,6	3,68
(0,53)	0,221	1,961	77,8	2,63	5,43	48,3	3,17
0,55	0,238	2,11	72,3	2,83	6,29	55,9	2,73
(0,57)	0,255	2,27	67,5	3,05	7,31	65,0	2,35
0,59	0,273	2,43	63,0	3,28	8,45	75,1	2,04
(0,62)	0,302	2,68	57,0	3,53	9,79	87,0	1,758
0,64	0,322	2,86	53,4	3,80	11,34	100,8	1,518
(0,67)	0,353	3,13	48,7	4,10	13,20	117,4	1,303
0,69	0,374	3,32	46,0	4,50	15,90	141,4	1,082
(0,72)	0,407	3,62	42,3	4,80	18,10	160,9	0,951
0,74	0,430	3,82	40,0	5,20	21,2	188,8	0,812

Примечания. 1. До диаметра 0,10 и включительно провода изготовляются из твердотянутой меди с повышенным удельным сопротивлением.

2. Диаметры проводов в скобках являются малоупотребительными; в частности, для проводов марки ПЭЛ и ПЭТ применять их не рекомендуется.

3. Провод марки ПШО диаметром 0,38; 0,47; 0,51 и 0,59 не выпускается.

Таблица 2.

Номинальные размеры (в *мм*.) и расчетные сечения меди обмоточной прямоугольной.

а / *в*	0,9	1,0	1,08	1,16	1,25	1,35	1,45	1,56	1,63	1,81	1,95	2,10
2,10	1,82	1,89	2,06	2,23	2,42	2,63	2,84	3,07	3,32	3,59	–	3,92
2,26	1,96	2,05	2,23	2,41	2,62	2,84	3,07	3,32	3,59	3,83	–	–
2,44	2,13	2,23	2,43	2,62	2,84	3,08	3,33	3,60	3,89	4,21	4,55	4,64
2,63	2,30	2,42	2,63	2,84	3,08	3,34	3,60	3,80	4,21	4,55	4,92	5,04
2,83	2,48	2,62	2,8o	3,07	3,33	3,61	3,89	4,20	4,54	4,91	5,31	5,46
3,05	–	2,84	3,08	3,33	3,60	3,91	4,21	4,55	4,91	5,31	5,74	5,93
3,28	–	3,07	3,33	3,60	3,89	4,22	4,55	4,91	5,30	5,73	6,19	6,41
3,53	–	3,32	3,60	3,89	4,20	4,56	4,91	5,30	5,72	6,18	6,67	6,93
3,8	3,25	3,59	3,89	4,20	4,54	4,92	5,30	5,72	6,17	6,67	7,20	7,50
4,1	–	3,89	4,22	4,55	4,92	5,33	5,74	6,19	6,68	7,21	7,79	8,13
4,4	–	4,19	4,54	4,89	5,29	5,73	6,17	6,65	7,18	7,75	8,37	8,76
4,7	–	4,49	4,87	5,24	5,67	6,14	6,61	7,12	7,79	8,30	8,96	9,39
5,1	–	4,89	5,30	5,71	6,17	6,88	7,19	7,75	8,36	9,02	9,74	10,20
5,5	–	5,29	5,73	6,17	6,67	7,22	7,77	8,37	9,03	9,75	10,50	11,10
5,9	–	5,69	6,16	6,63	7,17	7,76	8,35	8,99	9,70	10,50	11,30	11,90
6,4	–	6,19	6,70	7,21	7,79	8,43	9,07	9,77	10,60	11,40	12,30	12,90
6,9	–	6,69	7,24	7,79	8,42	9,11	9,79	10,60	11,40	12,30	13,30	14
7,4	–	7,19	7,78	8,37	9,04	9,78	10,50	11,30	12,60	13,30	14,20	15
8,0	–	7,79	8,43	9,07	9,79	10,60	11,40	12,30	13,20	14,40	15,40	16,30
8,6	–	8,39	9,08	9,77	10,60	11,40	12,30	13,20	14,20	15,50	16,60	17,60
9,3	–	–	–	–	–	12,40	13,30	14,30	15,40	16,60	17,90	19
10	–	–	–	11,4	–	–	–	15,40	16,60	17,90	19,30	20,5
10,8	–	–	–	–	–	–	–	–	18,2	19,30	20,90	22,2
11,6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	23,9
12,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	25,8
13,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Примечания.
1. *а* – меньшая сторона сечения; *в* – большая сторона сечения,
2. Расчетные сечения даны с учетом закругления углов поперечных сечений.

продолжение таблицы 2.

а / *в*	2,26	2,44	2,63	2,83	3,05	3,23	3,53	3,8	4,1	4,4	4,7	5,1	5,5
2,10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,26	4,63	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,44	–	5,37	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,63	–	5,94	6,44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
2,83	5,92	6,43	–	7,53	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3,05	6,41	6,96	7,54	8,15	8,72	–	–	–	–	–	–	–	–
3,28	6,93	7,52	8,15	8,80	–	10,30	–	–	–	–	–	–	–
3,53	7,50	8,13	8,80	9,51	10,30	11,10	12	–	–	–	–	–	–
3,8	8,11	8,79	9,51	10,30	11,10	12	–	13,90	–	–	–	–	–
4,1	8,79	9,52	10,30	11,10	12	13	14	15,10	15,90	–	–	–	–
4,4	9,46	10,20	11,10	12	12,90	13,90	15	16,20	17,10	18,50	–	–	–
4,7	10,10	11	11,90	12,80	13,80	14,90	16,10	17,40	18,40	–	21,1	–	–
5,1	11	11,90	12,90	13,90	15,10	16,20	17,50	18,90	20	21,5	–	25,1	–
5,5	11,90	12,90	14,60	15,10	16,30	17,50	18,90	20,4	21,7	23,3	25,0	–	–
5,9	12,80	13,90	15	16,20	17,50	18,90	20,3	21,9	23,3	25,1	26,8	29,2	–
6,4	14	15,10	16,30	17,60	19	20,5	22,1	23,8	25,3	27,3	29,2	31,7	34,3
6,9	15,10	16,30	17,70	19	20,6	22,1	23,9	25,7	27,4	29,5	31,5	34,3	37,1
7,4	16,20	17,60	19	20,4	22,1	23,6	25,6	27,6	29,4	31,7	33,9	36	39,8
8,0	17,60	19	20,5	22,1	23,9	25,7	27,7	29,9	31,9	34,3	36,7	39,9	43,1
8,6	18,90	20,5	22,1	23,8	25,7	27,7	29,9	32,2	34,4	36,9	39,5	43,0	46,4
9,3	20,5	22,2	24	25,8	27,9	30	32,3	34,8	37,2	40	42,8	46,5	50,5
10	22,1	23,9	25,8	27,8	30	32,3	34,8	37,5	40,1	43,1	46,1	50,1	54,1
10,8	23,9	25,9	27,9	30,1	32,4	34,9	37,6	40,5	43,4	46,6	49,9	54,2	58,5
11,6	25,7	27,8	30	32,3	34,9	37,5	40,5	43,6	46,7	50,1	53,6	58,3	62,9
12,5	27,8	30	32,4	34,9	37,6	40,5	43,6	47	50,4	54,1	57,9	62,9	67,9
13,5	–	32,4	35,0	37,7	40,7	43,8	47,2	50,8	54,5	58,5	62,6	68,0	73,4
14,5	–	34,9	37,6	40,5	43,7	47,1	50,6	54,6	58,6	62,9	67,3	74,1	78,9

Примечания.
1. *а* – меньшая сторона сечения; *в* – большая сторона сечения,
2. Расчетные сечения даны с учетом закругления углов поперечных сечений.

Таблица 3. Двухсторонняя толщина изоляции обмоточных проводов, в *мм*.

Марка провода	Круглые провода											Прямоугольные провода		
	при диаметре голого провода, *мм*.											при меньшей стороне сечения голого провода, *мм*.		
	0,06–0,09	0,10–0,19	0,20-0,25	0,27–0,29	0,31–0,35	0,38–0,49	0,51–0,69	0,72–0,96	1,00–1,45	1,50–2,10	2,26–5,20	0,83–1,95	2,1–3,8	4,1–5,5
ПЭЛШО	0,07	0,075	0,09	0,10	0,105	0,11	0,115	0,125	0,135	0,155	–	–	–	–
ПЭЛБО	–	–	0,125	0,155	0,16	0,165	0,17	0,18	0,21	0,21	–	–	–	–
ПБО	–	–	0,10	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,14	0,14	–	0,14	0,175	0,23
ПБД	–	–	0,19	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,27	0,27	0,33	0,27	0,33	0,44
ПЭЛ, ПЭТ	0,015	0,02	0,025	0,04	0,04	0,04–0,05	0,05	0,06	0,07–0,08	0,08–0,1	0,1	–	–	–
ПЭВ–1	0,025	0,025–0,03	0,03–0,04	0,04	0,04	0,04–0,05	0,05	0,06	0,07–0,08	–	–		–	–
ПЭВ–2	0,03	0,03–0,04	0,045	0,06	0,06	0,06–0,07	0,07–0,08	0,09	0,1–0,11	0,11–0,13	–			–
ПЭТСО	–	–	–	–	–	0,20	0,20	0,22	0,22	0,24	–	–	–	–
ПЭТКСО	–	–	–	–	–	0,16	0,16	0,18	0,20	0,20	–	–	–	–
ПСД, ПСДК	–	–	–	–	0,23	0,23	0,25	0,25	0,27	0,27	0,33	0,27	0,33	0,40
ПДА	–	–	–	–	–	–	–	–	0,30	0,30	0,35	0,40	0,40	0,40

Таблица 4. Зависимость скорости вращения от числа полюсов (синхронная скорость).

Число полюсов $2p$	Скорость вращения ротора *n, об. мин.*	Число полюсов $2p$	Скорость вращения ротора *n, об. мин.*
2	3000	20	300
4	1500	24	250
6	1000	28	214
8	750	30	200
10	600	32	187,5
12	500	36	166,8
14	428	40	150
16	375	50	120
18	333,3	60	100